

KUSTVERDEDIGING

T. Verwaest¹

SAMENVATTING

Overstromingen van de zee zijn zeldzaam maar kunnen dramatische gevolgen hebben. In feite is er nauwelijks een wettelijk kader dat de zorg voor de kustverdediging regelt. Als allerbelangrijkste lacune dient het ontbreken van enige wettelijke normering omtrent de in stand te houden veiligheidsniveaus vermeld te worden. Het huidige kustverdedigingsbeleid staat voor het in stand houden van een zeewering die minimum kan weerstaan aan een 1000-jarige storm en voor het in stand houden van de kustlijn. Daartoe werden in de afgelopen jaren vooral zandsuppleties uitgevoerd en zeedijken hersteld. Naar de toekomst toe dient er gewerkt te worden aan een wettelijk kader voor de kustverdediging, met alleszins normen voor de kustveiligheid, opgesteld door middel van een risico-analyse en maatschappelijk gedragen. Ter voorbereiding van een maatschappelijk debat dienen een groot aantal metingen en studies afgewerkt te worden. De stand van zaken omtrent de kennis van de extreme hydraulische belastingen, de toestand en het gedrag van de zeewering, de doorbraakkans van de zeewering en het huidig schaderisico wordt gegeven.

1 DE BESTAANDE SITUATIE

1.1 De problematiek van de kustverdediging

"Jij werkt aan de kustverdediging. Dan werk jij bij het leger, niet?"

"Neen, daar heb ik niets mee te maken. Het gaat over de bescherming van de kust tegen overstroming tegen de zee. Heb je al gehoord van de storm van 1 februari 1953 toen in Zeeland enorme gebieden blank stonden en vele honderden doden vielen..."

Dergelijke dialogen heb ik talloze malen gevoerd. Het illustreert dat weinig mensen, zelfs kustbewoners, beseffen wat de betekenis en het belang is van de kustverdediging.

De permanente dreiging van de zee wordt nauwelijks opgemerkt. Het feit dat de laatste belangrijke overstroming van de Vlaamse kust door de zee dateert al van 1/2/1953 zal daar niet vreemd aan zijn.

Overstromingen van de zee zijn zeldzaam maar kunnen dramatische gevolgen hebben, meer nog dan het gebeurlijke buiten hun oevers treden van rivieren. Zo vielen 8 dodelijke slachtoffers te betreuren bij de overstroming van Oostende op 1/2/1953 (VAN DAMME, 1953).

¹ Ir. Toon Verwaest is sinds 1997 werkzaam bij de cel Kust van de afdeling Waterwegen Kust, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Vrijhavenstraat 3, 8400 Oostende



Figuur 1: "Door het geweld van de golven, die over de zeedijk sloegen, werd de Capucienramp weggeslagen. Er moest met man en macht gewerkt worden om deze bres te stoppen." (VAN DAMME, 1953)

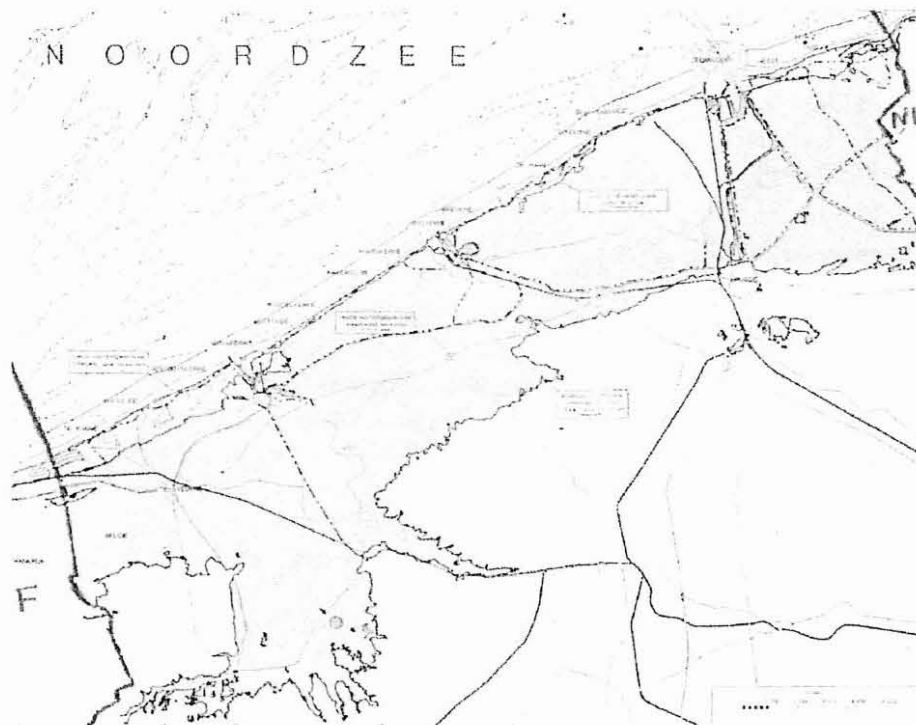
Als men verder terug gaat in de tijd blijkt dat de geschiedenis van de kustgemeenschap vele eeuwen in het teken heeft gestaan van de strijd tegen de zee. Omstreeks het begin van het 2e millennium worden voor het eerst dijken gebouwd om land en goederen te beschermen. In de daaropvolgende eeuwen zijn deze constructies niet steeds opgewassen gebleken tegen de zee. Voor onze hedendaagse normen onvoorstelbare ravages werden in die tijd aangericht, zoals bijvoorbeeld, bij de Vincentiusvloed van 22/1/1393 toen meer dan de helft van Oostende door de zee verzwolgen werd, of bij de 1e Sint-Elisabethsvloed van 19/11/1404 toen een landverlies van meer dan 3000 ha aan de Vlaamse kust werd opgetekend en de zee tot 15 km het land binnendrong (BUISMAN,).

Voor al wie het jaarlijkse winterstormgeweld al eens van dichtbij heeft gezien, is het duidelijk dat de kracht van de zee niet te onderschatten is. Ook anno het jaar 2000 is een doorbraak van de zee bij een extreme storm niet denkbeeldig, al moet het benadrukt worden dat jaarlijks zeer belangrijke investeringen en onderhoudswerken aan de zeewering uitgevoerd werden en worden, zodat de kans van een overstroming door de zee in vergelijking met bijvoorbeeld 1953 in belangrijke mate gereduceerd is.



Figuur 2: Het “spektakel” van overslaand water op de zeedijk te Oostende-centrum (foto Peter Maenhoudt).

Omwille van de lage ligging van de kustvlakte (onder +5 m TAW) is een gebied dat zich uitstrekt tot 10 à 20 km landinwaarts als potentieel door de zee overstroombaar te beschouwen. Zie onderstaande figuur.



Figuur 3 : De potentieel door de zee overstroombare kustvlakte (MINISTERIE VAN DE VLAAMSE GEMEENSCHAP, 1993)

1.2 Het wettelijk kader

In feite is er nauwelijks een wettelijk kader dat de zorg voor de kustverdediging regelt. Een overzicht van alle min of meer relevante regelgeving kan gegeven worden op één bladzijde (CLIQUET, VERCRUYCE & MAES, 2000).

Geregeld is dat het Vlaamse Gewest bevoegd is voor de zeewering en de dijken (Bijzondere wet van 8 augustus 1980 tot hervorming der instellingen, gewijzigd bij de Bijzondere wet van 8 augustus 1988 en de Bijzondere wet van 16 juli 1993).

De zeewering wordt omschreven als het geheel van het *openbaar* domein dat als functie heeft het hinterland te beschermen tegen de invloeden van de zee (KB van 5 oktober 1992 tot vaststelling van de lijst van de waterwegen en aanhorigheden overgedragen van de Staat naar het Vlaamse Gewest).

Delen van de zeewering (droog strand, zeewerende duinen, zeedijken) zijn echter in private eigendom of behoren tot het openbaar domein van een kustgemeente. Om desgevallend de nodige kustverdedigingswerken uit te kunnen voeren op betreffende gronden, kan het Vlaams Gewest zich beroepen op het decreet van 14 december 1810 (achttien-honderd-en-tien) voor wat betreft het uitvoeren van aanplantingen om duinen te fixeren.

Als allerbelangrijkste lacune dient het ontbreken van enige wettelijke normering omtrent de in stand te houden veiligheidsniveaus vermeld te worden. Via de gebruikelijke democratische procedures tot stand gekomen, maatschappelijk aanvaardbare, vastgelegde veiligheidsnormen zijn essentieel, vermits overstromingsrisico's onvermijdbaar zijn.

Hogere dijken en duinen, bredere stranden, enzovoort beperken de risico's van overstromingsschade maar vergen meer middelen om te realiseren en in stand te houden

Het moet voor iedereen duidelijk zijn welke risico's verbonden zijn aan het gebruik van constructies op het strand, in de duinen (nieuwbouw quasi verboden gelet op het Duinendecreet), in de kustvlakte, enzovoort, waartegen men zich dan op eigen initiatief kan verzekeren. De mogelijkheid wordt vandaag reeds aan eenieder geboden om via de klassieke brandverzekering een facultatieve verzekering tegen natuurrampen (waaronder overstroming door de zee) te nemen, tegen een jaarlijkse premie van ca. 175 BEF per verzekerd miljoen, met een franchise van de orde van 30.000 BEF per schadegeval, en met de beperking van de totale vergoeding ten laste van de verzekeringsmaatschappij van 1 miljard BEF per "gebeurtenis" (OMOB, 1999). De schade in geval van een overstroming door de zee kan de 1 miljard BEF ruimschoots overschrijden. Ter referentie, het totale geraamde bedrag van de tastbare rechtstreekse en onrechtstreekse kosten, ten gevolge van de overstromingen van januari-februari 1995 in het Maasbekken, die door de gemeenschap dient te worden gedragen, bedraagt ongeveer 1 miljard BEF (KINT, 1999).

Het moet ook voor de voor de zeewering bevoegde diensten van het Vlaamse Gewest duidelijk zijn welke normen zij moet hanteren. In het begin van de jaren '90 werd reeds een omvangrijk beleidsvoorbereidend studieprogramma, "KUST 2002" genoemd, opgestart (MINISTERIE VAN DE VLAAMSE GEMEENSCHAP, 1993). Sinds 1998 loopt het meerjaren-studieproject Algemeen Veiligheidsniveau Vlaanderen waarbij de Administratie Waterwegen en Zeewezen zeer grondig de overstromingsschaderisico's van de bevaarbare waterlopen en de zee bestudeerd met het oog op ondermeer het vastleggen van normen.

1.3 Het huidige beleid

Door de bevoegde diensten van het Vlaamse Gewest wordt een meersporenbeleid gevolgd (DE WOLF, 1996). Ten eerste, de nodige maatregelen worden genomen voor de realisatie en het in stand houden van een zeewering die minimum kan weerstaan tegen een 1000-jarige storm. Een 1000-jarige storm heeft een kans van voorkomen van 1/1000 elk jaar. Na onderzoek van de buitenlandse normen werd besloten dat minstens een bescherming tegen een 1000-jarige storm moet worden verzekerd. Ter vergelijking, de Nederlandse zeewering moet weerstaan aan een 4000-jarige storm in Zeeland en aan een 10.000-jarige storm in Holland (Wet op de Waterkering, 21 december 1995).

Ten tweede, de nodige maatregelen worden genomen voor het in stand houden van de kustlijn. Erosie wordt gestopt en teruggedrongen.

Ten derde, de kustverdedigingsprojecten worden gekaderd binnen een geïntegreerd en duurzaam kustzonebeheer.

Ten vierde, het verzorgen van een stormvloedwaarschuwingssysteem voor de kustzone en het mee-opmaken van rampenplannen voor in crisissituaties.

In de praktijk betekende dit de afgelopen jaren qua grote infrastructuurwerken ter verbetering van de kustverdediging vooral het uitvoeren van zandsuppleties en het herstellen van zeedijken.

1.3.1 Zandsuppleties

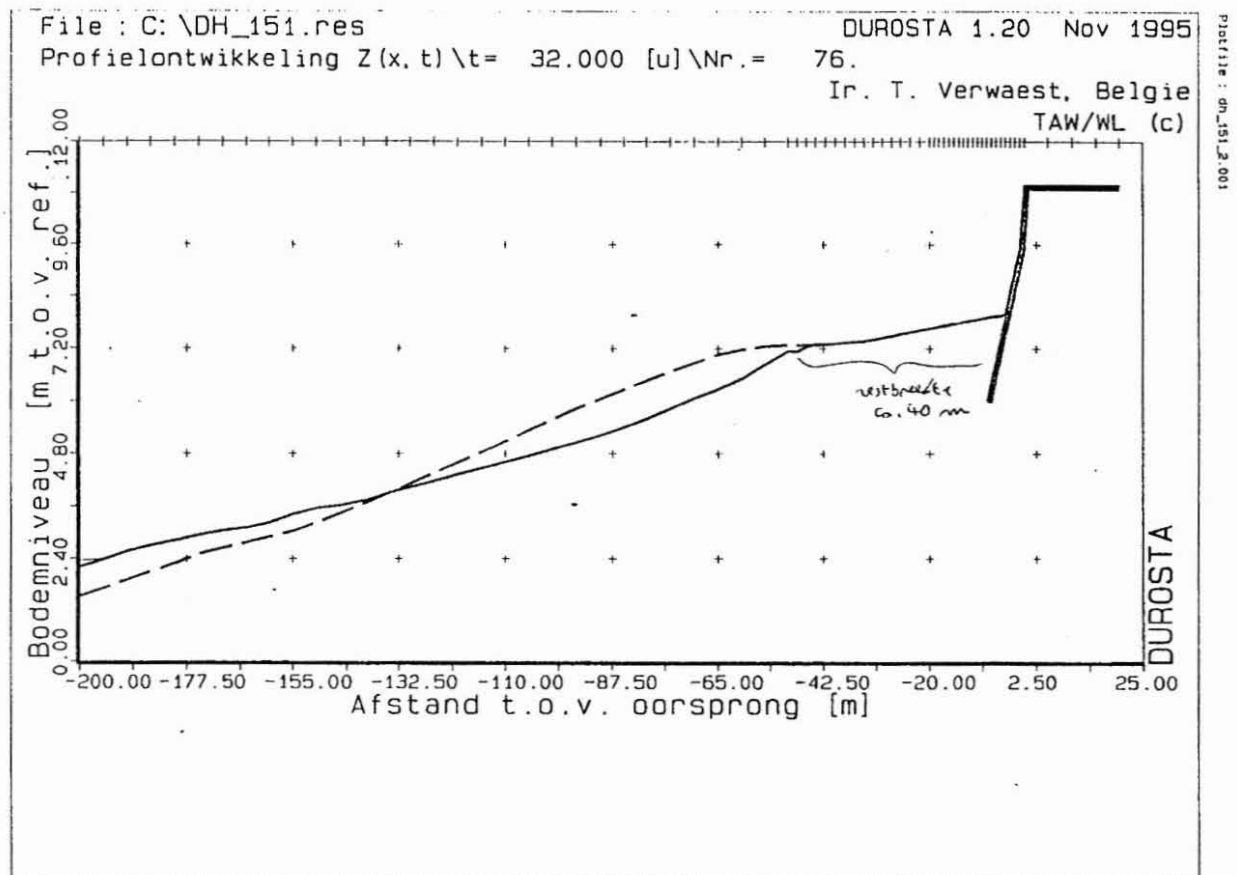
Ter illustratie van het gevoerde beleid worden twee voorbeelden van representatieve zandsuppleties gegeven: de strandsuppletie voor de zeedijk van De Haan-centrum (voorjaar 2000) en de strandsuppletie voor de zeereep van de Duinse Polders (winter 1998 - voorjaar 1999).

In het voorjaar van 2000 werd een zandsuppletie uitgevoerd op het ca. 1 km lange strand voor de zeedijk van De Haan-centrum. Een 260.493 m³ relatief grof zeezand met een gemiddelde korreldiameter van 320 micron, afkomstig van voor de scheepvaart uitgevoerde baggerwerken in de Noordzee, werd vanuit het beun van het baggerschip via een deels drijvende, deels op de zeebodem en het strand geplaatste leiding op het strand gespoten.



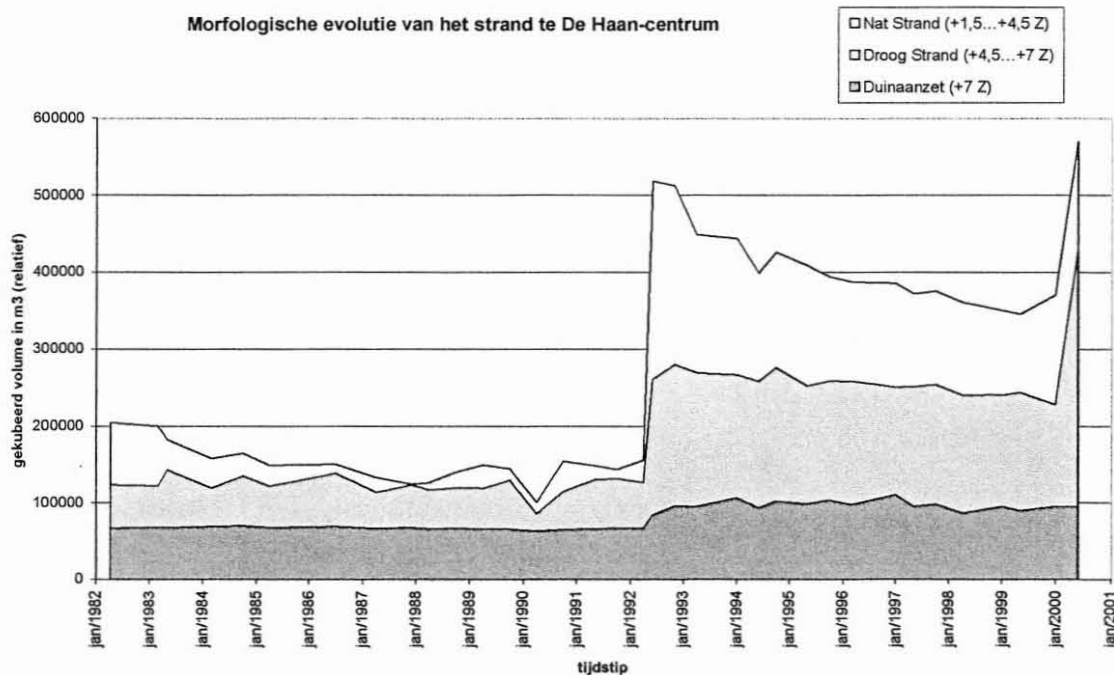
Figuur 4 : De strandsuppletie voor de zeedijk van De Haan-centrum (voorjaar 2000).

Na de opspuiting is te De Haan-centrum ruimschoots voldaan aan de veiligheidstoets van een 1000-jarige storm, zoals aangetoond wordt met de resultaten van de simulatie-berekeningen met het strandafslagprogramma DUROSTA waarbij de methodiek van de Nederlandse Leidraad Toetsen op Veiligheid (TAW, 2000) wordt gevolgd (VERWAEST, 2000).



Figuur 5 : Berekeningsresultaat strandafslag na een 1000-jarige storm De Haan-centrum, sectie 151. De stippellijn stelt het strand voor vóór de storm; de volle lijn na de storm.

De in de afgelopen jaren opgetreden erosie is opnieuw teruggedrongen. Zie onderstaande figuur.



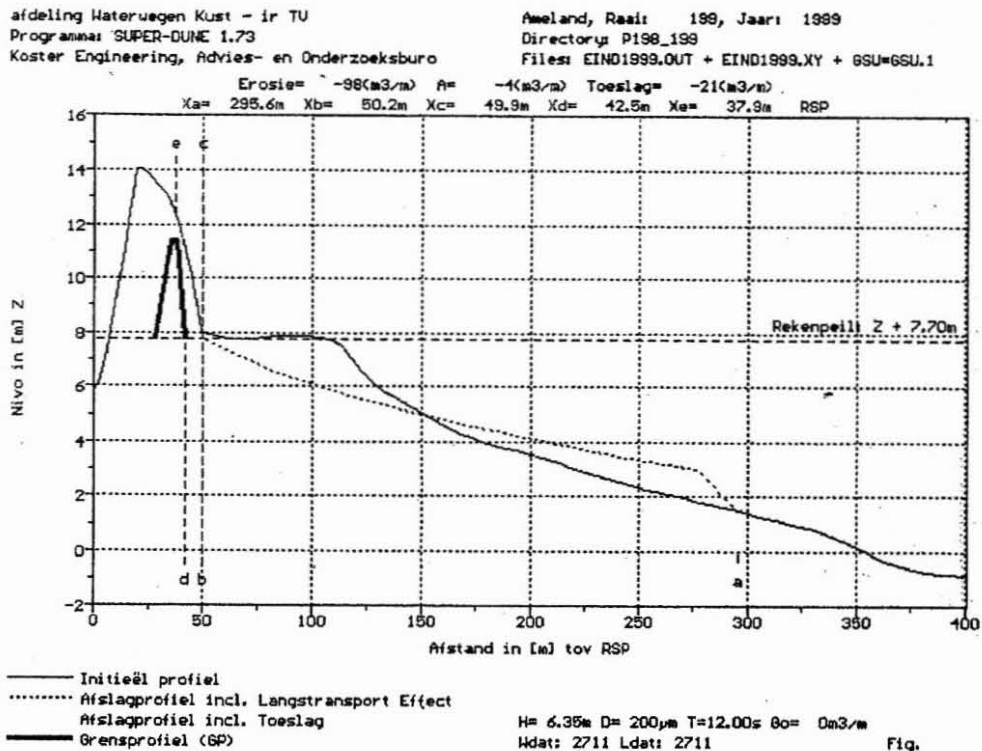
Figuur 6 : Evolutie van het strandvolume te De Haan-centrum (1 km ; secties 151 tot 155). Suppleties zijn er uitgevoerd in het voorjaar 1992 en in voorjaar 2000

In de winter 1998 en het voorjaar 1999 werd een zandsuppletie uitgevoerd over een lengte van ca. 1 km op het strand voor de zeereep van de Duinse Polders (tussen Blankenberge en Zeebrugge), ter grootte van ca. 490.000 m³ in beun. Na de opspuiting werd het strand gestabiliseerd door middel van het plaatsen van rijshouthagen en het planten van helmgras.



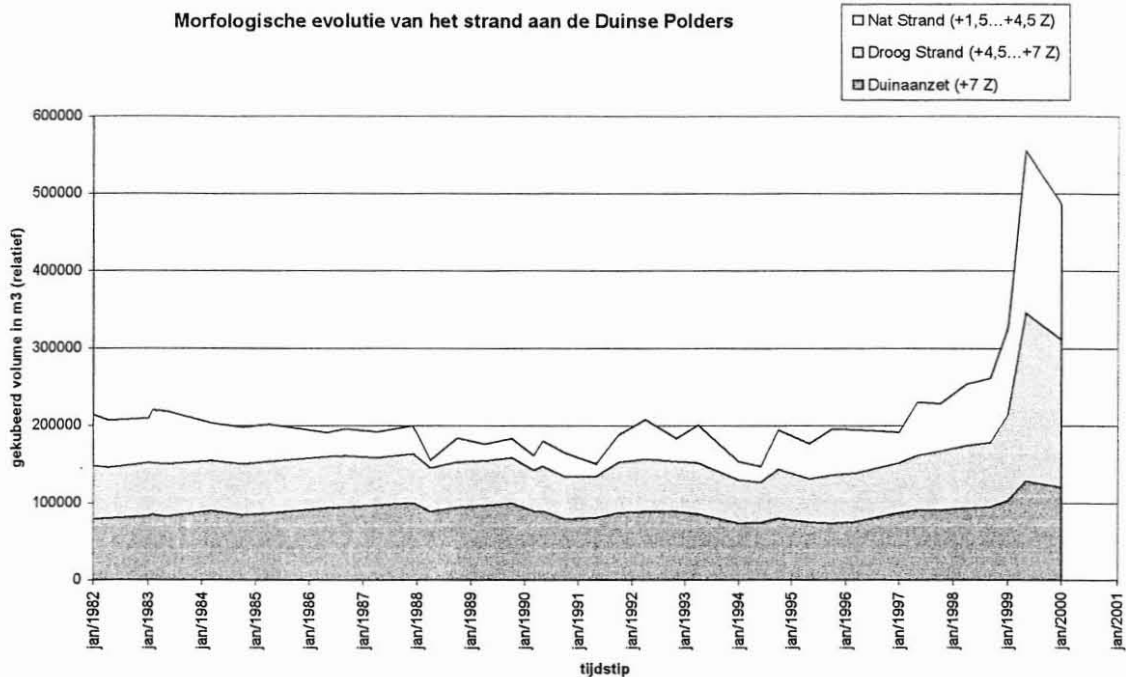
Figuur 7 : De strandsuppletie voor de zeereep van de Duinse Polders (winter 1998 - voorjaar 1999).

Na de opspuiting kan de zeereep ter hoogte van de Duinse Polders opnieuw weerstaan aan een 1.000-jarige storm, zoals aangetoond werd met duinafslagberekeningen met de software SUPER-DUNE waarbij de methodiek van de Nederlandse Leidraad Toetsen op Veiligheid (TAW, 2000) wordt gevolgd (VERWAEST, 1999a).



Figuur 8 : Berekeningsresultaat duinafslag na een 10.000-jarige storm en toetsing grensprofiel voor de zeereep van de Duinse Polders, sectie 199. Aan de toetsing wordt voldaan omdat het grensprofiel-volume (dikke volle lijn, ca. 29 m³/m) in het duinprofiel na afslag (incl. toeslag) kan ingepast worden (restprofiel na afslag ca. 153 m³/m >> 29 m³/m).

De morfologische evolutie van deze zone is getoond op de volgende figuur:



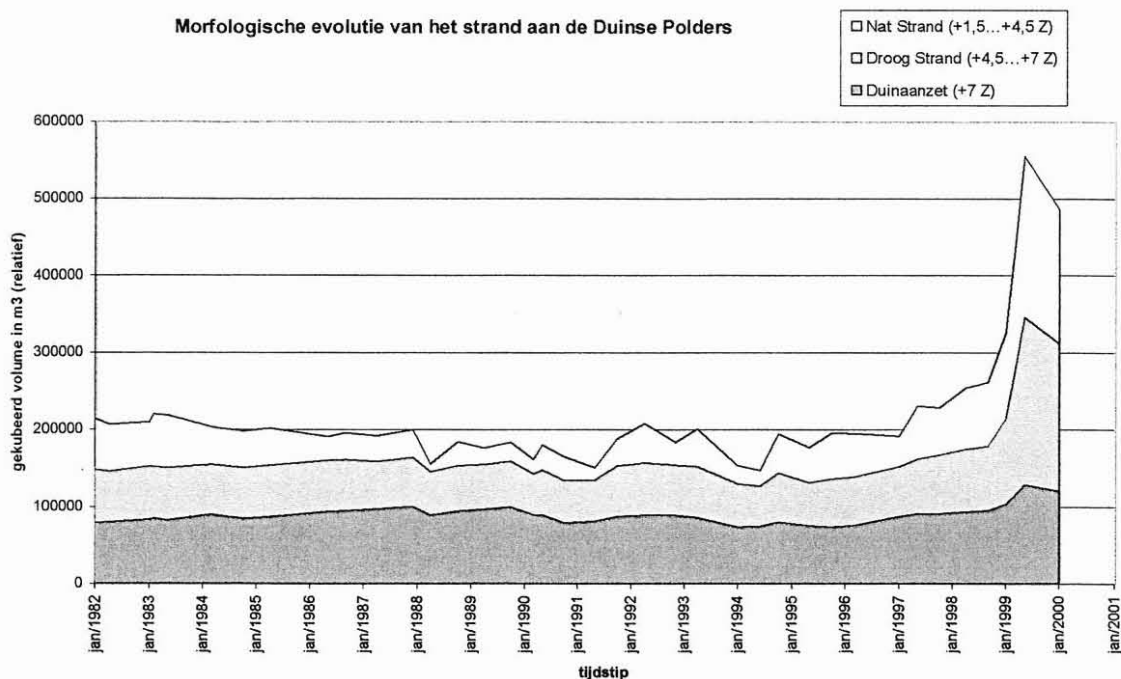
Figuur 9 : : Evolutie van het strandvolume te Duinse Polders (1 km ; secties 195 tot 200).
Een suppleties is er uitgevoerd in winter 1998 - voorjaar 1999

1.3.2 Herstellen van zeedijken

Ter illustratie van het gevoerde beleid wordt als voorbeeld gegeven de zeedijk tussen Middelkerke en Oostende-Mariakerke.

Niet-destructieve onderzoeken (grondpenetratieradar, elektromagnetische techniek, endoscopie) van de zeedijkglooiing hebben er aangetoond dat verschillende zones in slechte toestand zijn met holten onder de kalkstenen-bekleding (HAECN, 1998).

Sinds meerdere jaren werd en wordt daarom deze zeedijkglooiing herbouwd, tegen een ritme van ca. 100 m per jaar. Er wordt voor een ondoorlatende, stijve constructie van gewapend beton geopteerd, waarboven om esthetische redenen een bekleding van bijvoorbeeld metselwerk wordt geplaatst.



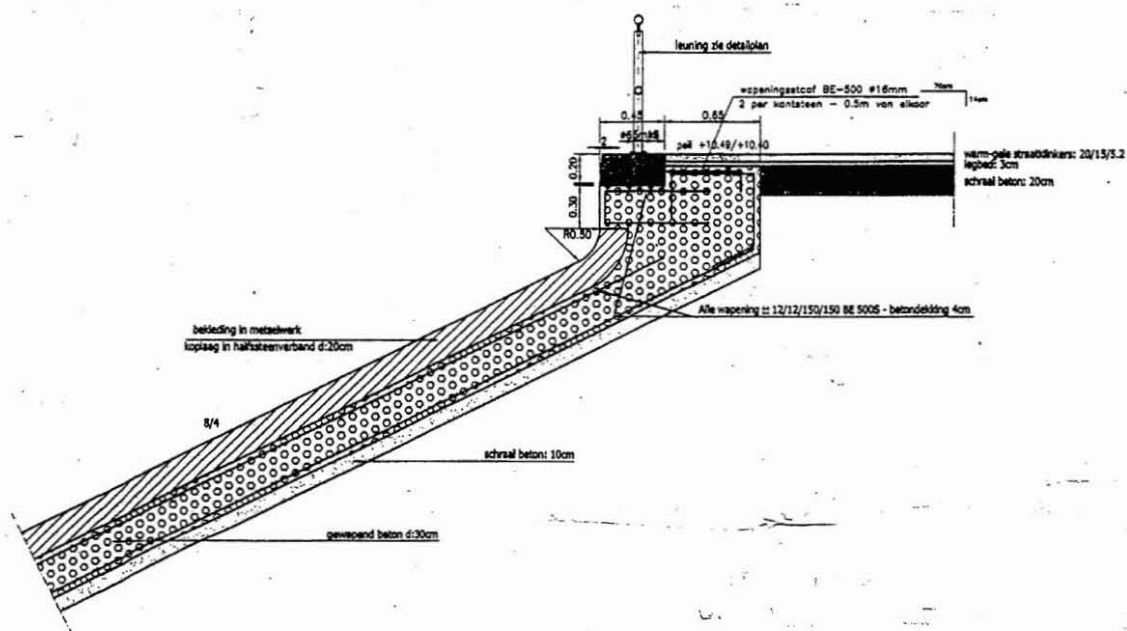
Figuur 9 : : Evolutie van het strandvolume te Duinse Polders (1 km ; secties 195 tot 200).
Een suppleties is er uitgevoerd in de winter 1998-1999

1.3.2 Herstellen van zeedijken

Ter illustratie van het gevoerde beleid wordt als voorbeeld gegeven de zeedijk tussen Middelkerke en Oostende-Mariakerke.

Niet-destructieve onderzoeken (grondpenetratieradar, elektromagnetische techniek, endoscopie) van de zeedijkglooiing hebben er aangetoond dat verschillende zones in slechte toestand zijn met holten onder de kalkstenen-bekleding (HAECON, 1998).

Sinds meerdere jaren werd en wordt daarom deze zeedijkglooiing herbouwd, tegen een ritme van ca. 100 m per jaar. Er wordt voor een ondoorlatende, stijve constructie van gewapend beton geopteerd, waarboven om esthetische redenen een bekleding van bijvoorbeeld metselwerk wordt geplaatst.



Figuur 10 : Doorsnede herbouwde zeedijkglooing Middelkerke - faze 7

2 DE TOEKOMSTVISIE

Naar de toekomst toe dient er gewerkt te worden aan een wettelijk kader voor de kustverdediging, met alleszins normen voor de kustveiligheid, opgesteld door middel van een risico-analyse en maatschappelijk gedragen. Deze plannen passen in de langetermijn doelstelling van de Administratie Waterwegen en Zeewezen ter realisatie van een Algemeen Veiligheidsniveau Vlaanderen.

Opdat de genoemde risico-analyse zou uitgevoerd kunnen worden dienen vooraf een aantal voorbereidende, ondersteunende studies uitgevoerd te worden.

Het globale actieplan dat gevolgd wordt is schematisch als volgt:

- randvoorwaarden-belastingen
- gedrag zeeweringen - toestand * duinen
* zeedijken en andere infrastructuur
- gedrag zeeweringen -modellen (Leidraad Toetsen volgen)
- => KANS DOORBRAAK HUIDIGE ZEEWERING (INCL. ONZEKERHEDEN)
- DTM overstroombare gebieden,
simulaties overstromingen,
inventaris goederen in overstroombare gebieden
- database waarden goederen
- => HUIDIG SCHADERISICO (INCL. ONZEKERHEDEN)
- simulaties schaderisico beperkende maatregelen
- maatschappelijk debat resulterend in normen
- => MAATREGELEN TER REALISATIE VAN ALGEMEEN VEILIGHEIDSNIVEAU ZEEWERING

Figuur 11 : Globaal actieplan ter realisatie van een Algemeen Veiligheidsniveau voor de zeewering

3 VOORBEREIDENDE STUDIES

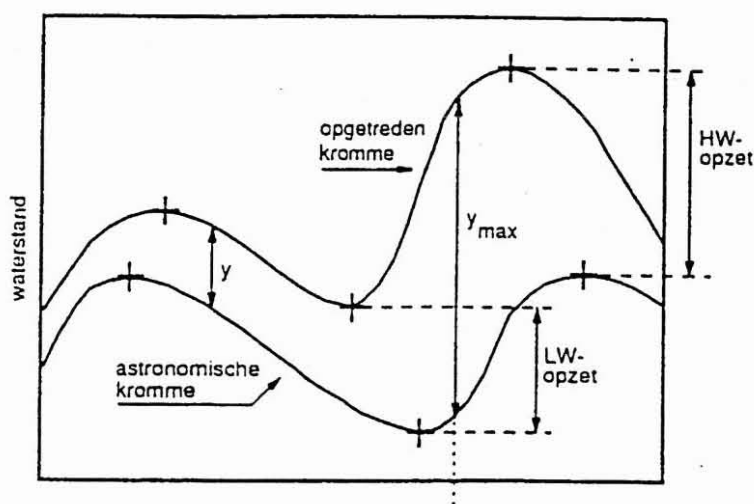
Onder deze titel wordt de stand van zaken van bovenstaand globaal actieplan gegeven.

3.1 Randvoorwaarden - belastingen

De belangrijkste belastingen waaraan de zeewering moet weerstaan zijn de extreme waterpeilen en golven die kunnen optreden wanneer er zich een superstorm voordoet.

3.1.1 Enkelvoudige statistiek van de extreme peilen langs de kust

Het verloop van de waterstand tijdens een storm wordt bepaald door enerzijds een astronomische en anderzijds meteorologische componente. Het verschil tussen het waargenomen hoogwaterpeil en het astronomische-gemiddelde hoogwaterpeil wordt de scheve opzet genoemd ("HW-opzet" in onderstaande figuur).



Figuur 12 : Astronomische en meteorologische componente van het verticale getij; figuur uit (VAN URK, 1993)

Extreme hoogwaterpeilen doen zich voor als de astronomische componente en de meteorologische componente tegelijkertijd een hoge waarde bereiken. Tijdens de storm van 1/2/1953 werd een waterstand van +6,66 m TAW te Oostende opgemeten, waarvan ca. 2 m meteorologische opzet. Veel hogere waterstanden dan deze die genoteerd werden bij de superstorm van 1/2/1953 zijn hydrometeorologisch gezien mogelijk (VAN URK, 1993). In de afgelopen eeuw is een relatieve zeespiegelrijzing van (10)-15-20 cm opgetreden. Er is echter nog geen versnelde zeespiegelrijzing en evenmin een toename van de stormactiviteit waargenomen (VIAENE, 2000), zoals -door sommigen- verwacht wordt als gevolg van een broeikaseffect door atmosferische pollutie.

Een relatief uitgebreide dataset is aanwezig voor de Belgische kust met gegevens van de voorgekomen waterstanden te Nieuwpoort, Oostende en Zeebrugge die teruggaan tot de jaren 1925. Deze metingen werden en worden uitgevoerd door de afdeling Waterwegen Kust (VAN CAUWENBERGHE, 1993).

Gebaseerd op enerzijds de kennis van de astronomisch-hydrometeorologische drijvende processen en anderzijds de metingen van de hoogwaterstanden, kunnen overschrijdingskansen worden berekend voor extreme waterstanden die kunnen optreden bij superstormen.

In de afgelopen jaren zijn verschillende uitgebreide studies uitgevoerd met het oog op het berekenen van dergelijke overschrijdingskansen:

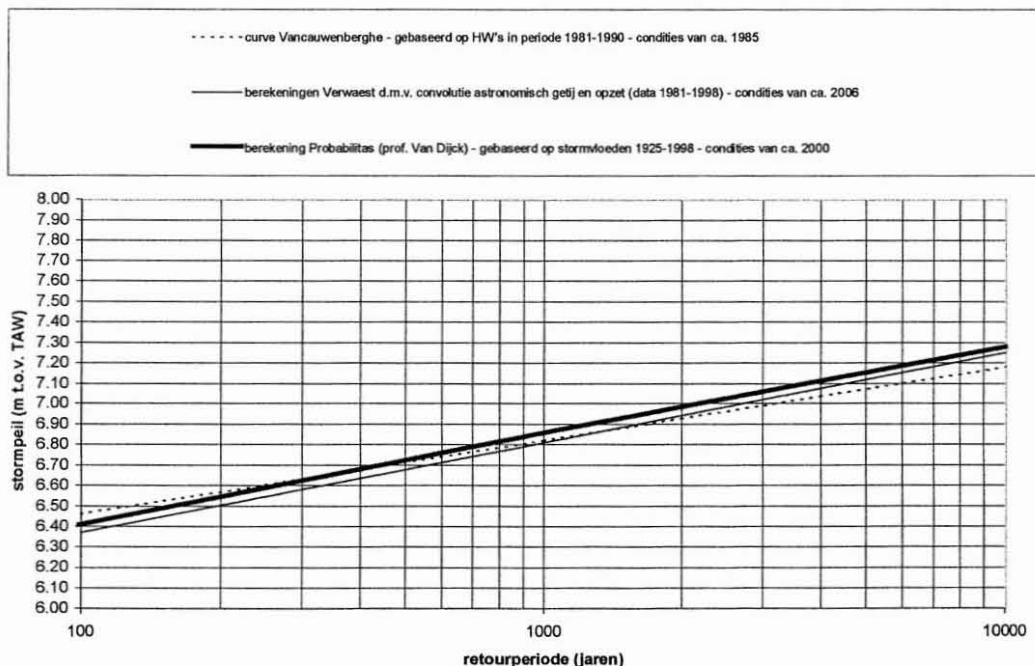
1. voor de Nederlandse kust, voornamelijk het eerder vermelde onderzoek "De Basispeilen langs de Nederlandse kust" van het RIKZ, 1993, (van Urk, 1993) waar zowel een statistische als een fysisch-meteorologische invalshoek werd gevolgd die gelijkaardige resultaten opleverden
2. voor de Belgische kust,
 - een gedetailleerde statistische analyse van extreme hoogwaterstanden (PROBABILITAS, 1999).
 - een modellering door convolutie van het astronomisch-gemiddelde getij en de meteorologische opzet (VERWAEST, 1999b).
 - een statistische analyse van de extreme hoogwaterstanden (VAN CAUWENBERGHE, 1997). Overschrijdingslijn voor Oostende, interne nota van ing. C. Van Cauwenberghe, Hydrografische Dienst van de afdeling Waterwegen Kust, 1997

Onderstaande figuur geeft de resultaten weer van de genoemde berekeningen voor de Vlaamse kust, voor het meetstation Oostende.

De retourperiode op de horizontale as geeft aan welke de statistisch gemiddelde tijdsduur is tussen twee opeenvolgende overschrijdingen van het overeenstemmende waterpeil.

Voor elke overschrijdingskromme is ook aangegeven voor welke condities deze is opgesteld. Gezien o.a. de stijging van de zeespiegel in de afgelopen eeuw heeft een bepaald stormpeil nu een kleinere retourperiode in vergelijking met wat de retourperiode van datzelfde stormpeil was eerder deze eeuw. Het is dus belangrijk aan te geven voor welke condities een overschrijdingslijn berekend is.

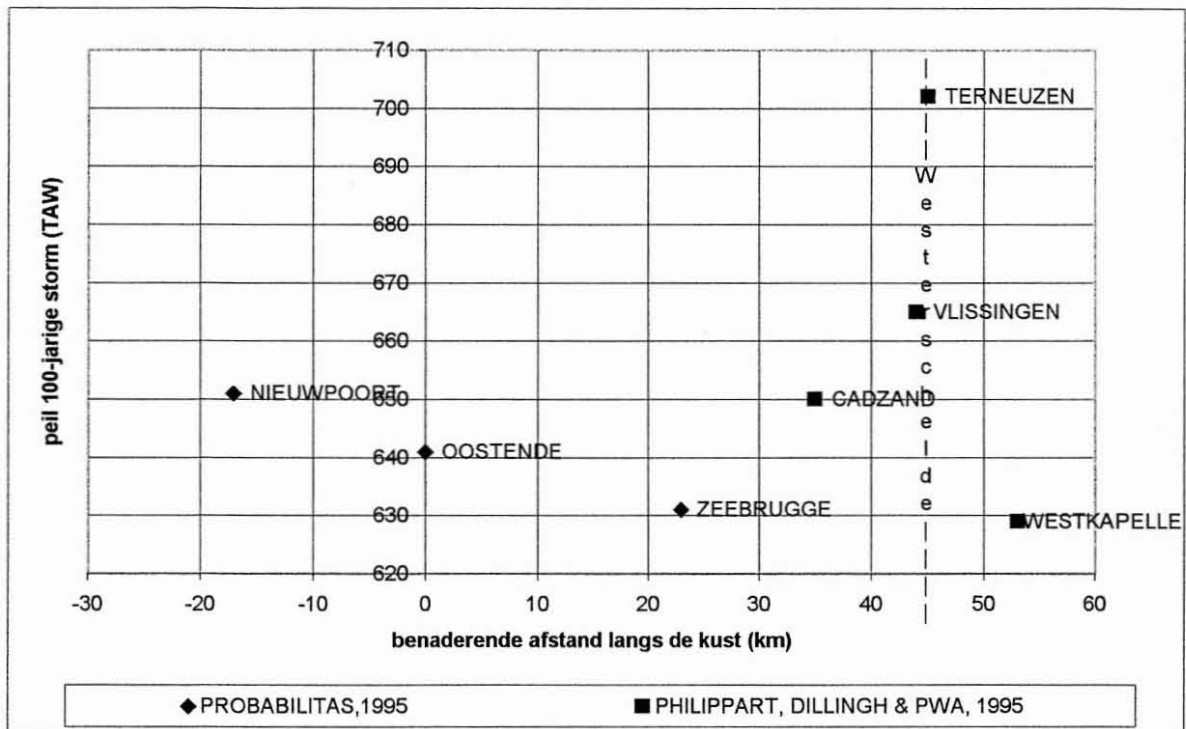
De verschillen tussen de 3 overschrijdingslijnen zijn relatief klein, gelet op de extrapolatie die telkens is moeten gebeuren vertrekkende van een dataset aan meetgegevens die een periode van decennia bestrijkt. De relatief kleine verschillen duiden op de betrouwbaarheid van de werkwijze. De onzekerheidsmarges op de resultaten blijven echter zeer groot voor de extreme retourperiodes van de orde van 1000 jaar, vanwege de extrapolatie (PROBABILITAS, 1999 en VERWAEST, 1999b). Al dient ook gezegd dat de onbekende corrigerende term gelijk kan genomen worden voor de gehele kust, wat deze onzekerheidsmarges voor een geval van een vergelijkende studie van minder belang maken.



Figuur 13 : Retourperiodes van extreme stormpeilen te Oostende.

Voor Nieuwpoort en Zeebrugge wordt dezelfde overschrijdingskromme gevonden, echter met een correctie op de waterstand van +10 cm voor Nieuwpoort en van -10 cm voor Zeebrugge (PROBABILITAS, 1999). He

verloop van de extreme hoogwaterstanden langs de Vlaamse en naburige Nederlandse kust, gebaseerd op (PROBABILITAS, 1999) en (PHILIPPART, DILLINGH & PWA, 1995), is getoond op onderstaande figuur.



Figuur 14 : Verloop van extreme hoogwaterstanden, voor de 100-jarige storm langs de kust

Bij toepassing van de berekende overschrijdingslijnen, in geval van een ontwerp of een toetsing van een kustverdediging, worden klassiek bovenop de verwachte waarde nog een aantal toeslagen geteld, vanwege de verschillende bronnen van onzekerheden, zoals de onzekerheid op de overschrijdingslijnen zelf (b.v. volgens de Nederlandse Leidraad Toetsen op Veiligheid wordt bij een toetsing van de veiligheid van een zeeverend duin de verwachte extreme waterstand verhoogd met o.a. 2/3 van de decimeringshoogte, die ca. 30 cm bedraagt voor de Belgische kust), de verwachte stijging van de zeespiegel (b.v. de afdeling Waterwegen Kust rekent momenteel een zeespiegelstijging van 60 cm tegen 2100 in), de onzekerheid betreffende de berekeningsmethode etcetera. Het vertalen van onzekerheden in toeslagen op parameters is klassiek voor vele berekeningsmethodieken van ingenieurs.

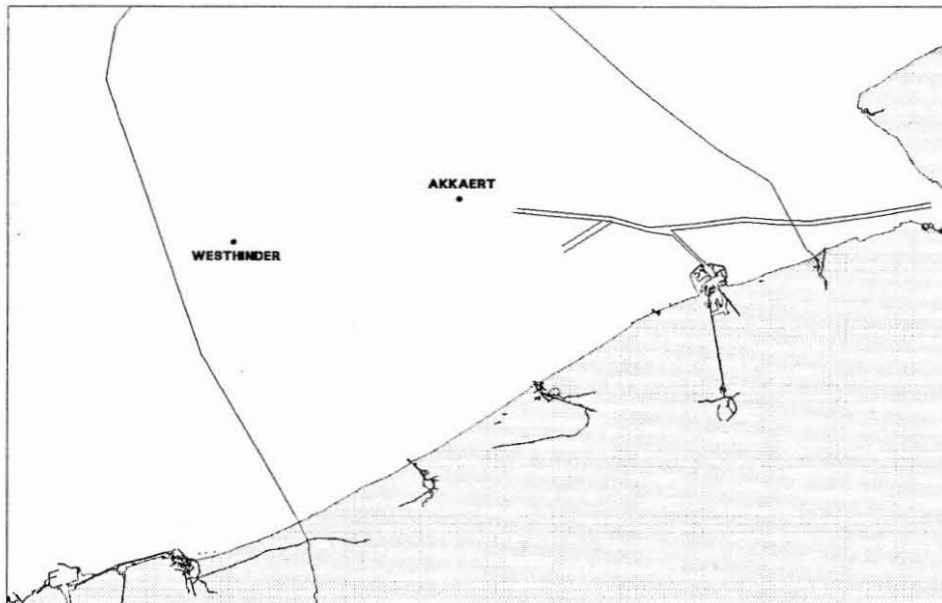
Bij toepassing van de berekende overschrijdingslijnen in het kader van een maatschappelijk debat omtrent de te hanteren veiligheidsnormen voor kustverdediging, dienen de onzekerheden op de waterstand met behulp van probabilistische methoden doorgerekend te worden tot uiteindelijk onzekerheden op de overstromingsschade bekomen worden. De keuze van de te hanteren veiligheidsnormen zal gebaseerd moeten worden op zowel de verwachte waarde van als de onzekerheden op de overstromingsschade.

3.1.2 Extreem golfklimaat langs de kust

Een accurate beschrijving geven van het golfklimaat langs de kust is veel complexer dan voor het verticale getij, en dit om verschillende redenen. Om te beginnen dient een golfklimaat beschreven te worden als een spectrum van golfhoogtes, golfperiodes en golfrichtingen. Ook zijn er eerder weinig meetgegevens beschikbaar. Het hydrometeosysteem van Vlaamse Banken is uitgebouwd sinds de jaren 1976, maar slechts een beperkt aantal meetjaren zijn beschikbaar van meetinstrumenten langs de kust. Wil men gebruik maken van de relatief langere meetreeksen opgemeten op zee (de meeste meetinstrumenten zijn opgesteld langs de vaarroutes op zee), dan dienen golfvoortplantingsmodellen opgemaakt te worden voor de Vlaamse Banken, hetgeen de nodige investeringen vergt. Bovendien zijn dikwijls verdere golftransportberekeningen nodig, hetzij transport over de

vooroever en het onderwaterstrand, hetzij transport in de havens, om de belastingen op de zeeweringen te kennen.

3.1.2.1 Extreem golfklimaat op diep water

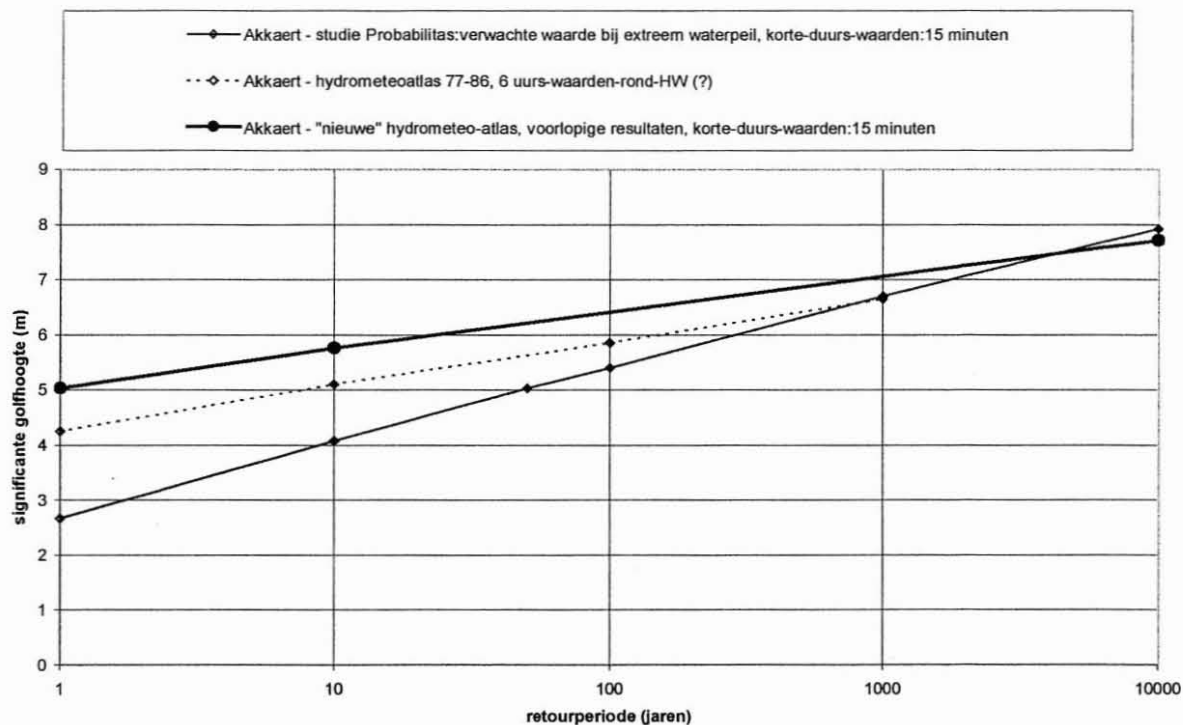


Figuur 15 : Extreem golfklimaat op diep water : golfmeetstations meetnet
Vlaamse Banken Westhinder en Akkaert.

Verskillende statistische analyses zijn reeds uitgevoerd teneinde overschrijdingslijnen voor de significante golfhoogte H_s te bepalen op diep water (ter plaatse van de meetstations Westhinder en Akkaert), waarbij telkens fundamenteel verschillende statistische methoden werden gebruikt. Drie verschillende curven zijn opgesteld:

- een curve voor de verwachte waarde voor H_s bij gegeven extreme waterpeilen (PROBABILITAS, 1999).
- een overschrijdingslijn voor H_s gebaseerd op de 15-minuten-metwaarden voor H_s van het hydrometeosysteem voor de periode van het begin van de metingen (1977) tot nu (1999) (HAECON&PROBABILITAS, 2000, nog te verschijnen).
- een overschrijdingslijn voor H_s gebaseerd op 6-uurs-gemiddelden van H_s van het hydrometeosysteem voor de periode 1977-1986. (HAECON, 1989).

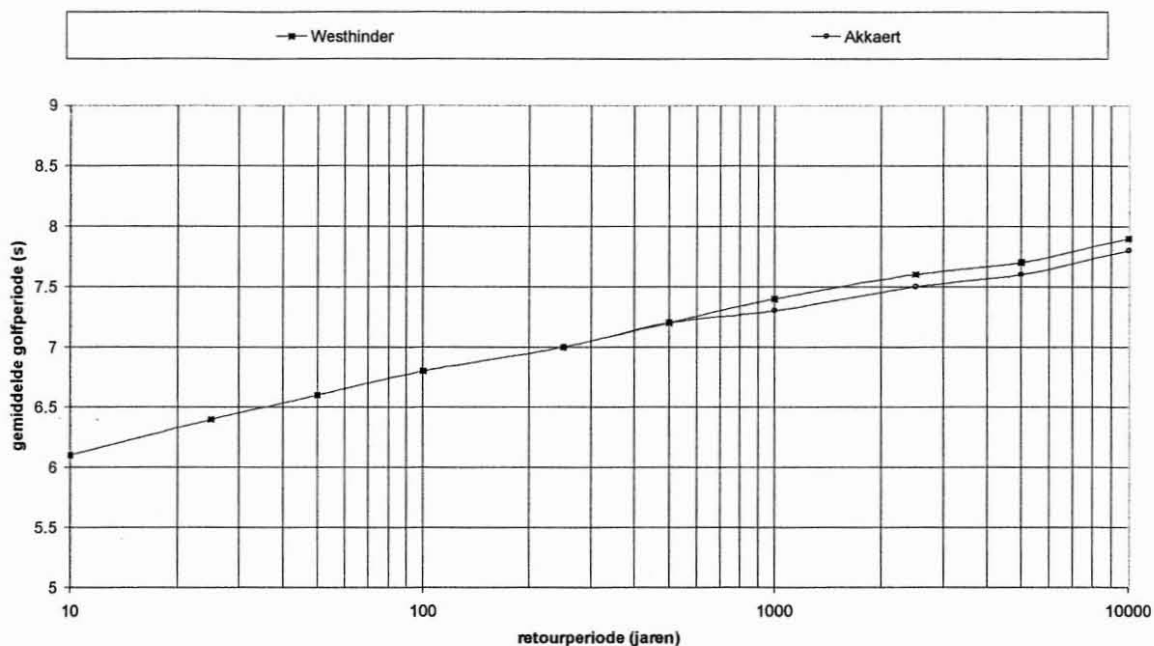
Op onderstaande grafiek zijn de resultaten voor Akkaert getoond.



Figuur 16 : Overschrijdingslijnen voor H_s op diep water (Akkaert)

Het is interessant om deze op 3 verschillende statistische manieren bekomen overschrijdingslijnen voor significante golfhoogtes naast mekaar te zetten. Uit de vergelijking valt op dat er groot verschil bestaat al naargelang de precieze gevoelde statistische verwerkingsmethode. De 6-uren-gemiddeldes liggen lager dan de korte-duur-waarden over 15 minuten, en de marginale waarden (zonder referentie naar extreme peilen) liggen hoger dan de met een extreem peil overeenstemmende waarden. Echter, voor retourperiodes van de orde van 1000 jaar zijn de verschillen relatief klein. Desondanks moet -net zoals voor de extreme waarden van de waterstand- benadrukt worden dat belangrijke onzekerheidsmarges op de extreme H_s waarden bestaan omwille van de extrapolatie (PROBABILITAS, 1999), waarmee bij gebruik ervan terdege rekening dient te worden gehouden.

In (PROBABILITAS, 1999) werden ook verwachtingswaarden voor de gemiddelde golfperiode op diep water voor een gegeven extreme waterstand berekend. De resultaten zijn getoond op onderstaande figuur. Het verschil tussen de meetstations Akkaert en Westhinder is verwaarloosbaar klein.

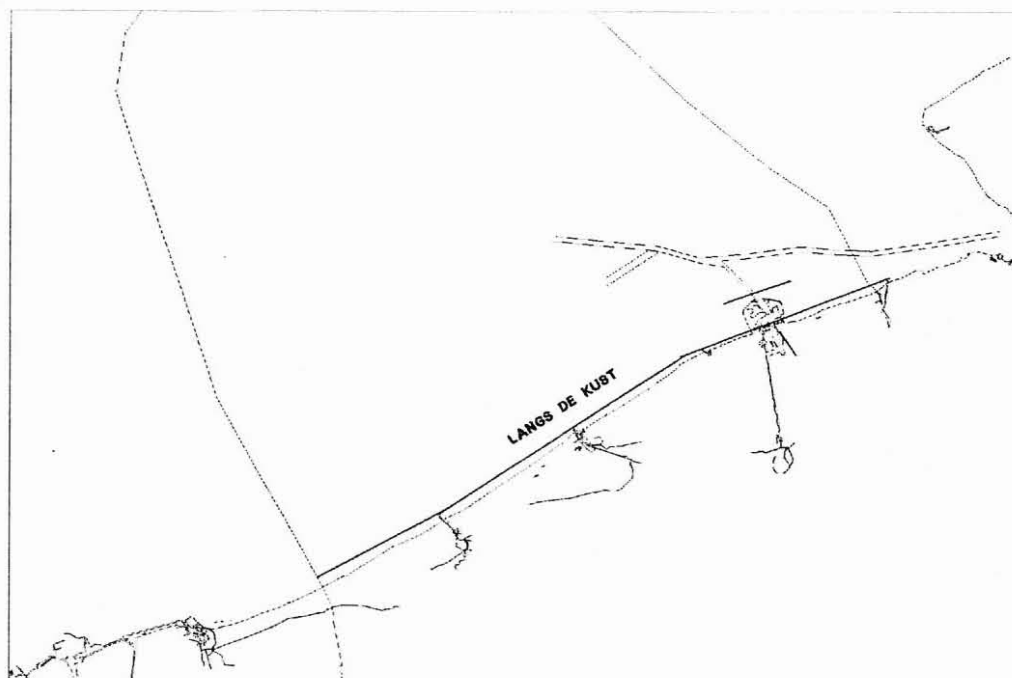


Figuur 17 : Verwachtingswaarden van gemiddelde golfperiode bij gegeven extreme waterstand, gebaseerd op (PROBABILITAS, 1999)

De golfrichting op diep water -niet noodzakelijk gelijk aan de windrichting- kan noord, zuid, oost, west of iets ertussen zijn. Statistieken van de golfrichtingen op diep water zijn beschikbaar in de "oude" en de "nieuwe" hydrometeo-atlassen (HAECON, 1989) en (HAECON&PROBABILITAS, 2000, nog te verschijnen).

In samenwerking met het Waterbouwkundig Laboratorium zal in de komende maanden en jaren een Noordzeemodel uitgebouwd worden waarmee de kennis over het golfklimaat op diep water verder zal uitgebouwd worden.

3.1.2.2 Extreem golfklimaat langs de kust



Figuur 18 : Extreem golfklimaat langs de kust (vóór de havenmonden).

Op het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout wordt een golfmodel voor de kustzone ontwikkeld met de DELFT-3D-WAVE-HISWA software. Eerste berekeningen, met een golfmodel nog in ontwikkeling, resulteerden in golfdissipatiecoëfficiënten van de orde van 0,5 à 0,6 met de golfperiode langs de kust ongeveer gelijk aan de golfperiode op diep water (HAECON, 2000), en meer uitgebreide berekeningen voor Oostende resulteerden in conservatieve golfdissipatiecoëfficiënten van 0,6 à 0,75 afhankelijk van de golfrichting op diep water (MEERSSCHAUT, 2000).

Dit golfmodel zal in de komende jaren verder verbeterd worden door middel van een verfijning van de calibratie (vergelijking simultane metingen op diep water en langs de kust, gebruik maken van Nederlandse en Franse golfdata), een verfijning van het rekenmodel (SWAN-module i.p.v. HISWA-module, niet-constante golfrandvoorwaarden, effect van stromingen via FLOW-module inrekenen), een verfijning van de input (golfrandvoorwaarden uit Noordzeemodel, gebruik maken van de windstatistieken), enzovoort.

Als het golfmodel voor de kustzone verfijnd is, zullen berekeningen met dit model toelaten om een golfdatabank op te stellen met het extreem golfklimaat langs de kust.

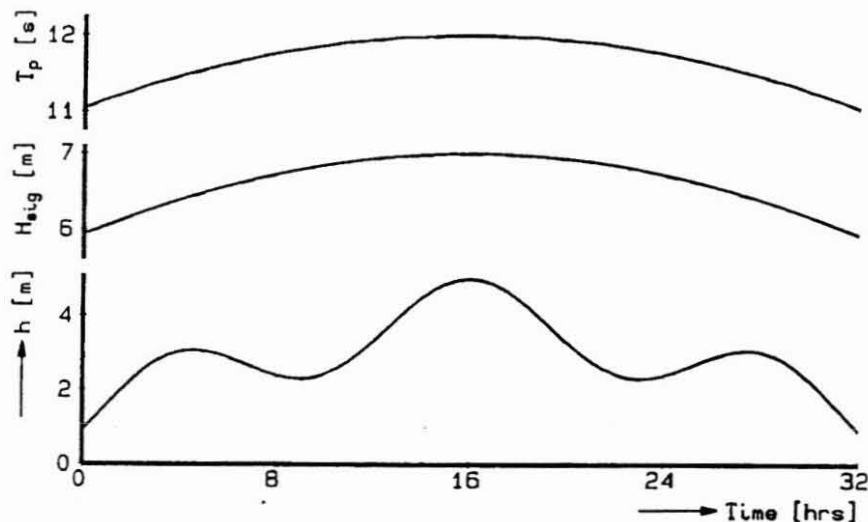
3.1.2.3 Extreem golfklimaat in de havens

Golfvoortplantingsprogramma's voor de havens zullen worden ontwikkeld in samenwerking met het Waterbouwkundig Laboratorium.

Om te beginnen wordt de golfvoortplanting binnen de haven van Oostende gemodelleerd. Voor de haven van Oostende worden berekeningen uitgevoerd met het programma SIMWAVE door de Universiteit Gent - faculteit Toegepaste Wetenschappen - afdeling Weg- en Waterbouwkunde in opdracht van de afdeling Waterwegen Kust, en zullen worden uitgevoerd met het programma PHAROS door het Waterbouwkundig Laboratorium. Er wordt ook een meetcampagne in de haven uitgevoerd met golfmeetboeien, stappenbaken en druksensoren op de bodem.

3.1.3 Verloop tijdens een superstorm

In (STEETZEL, 1993) worden formules gegeven voor het verloop tijdens de stormduur van de waterstand, de significante golfhoogte en de piekgolfperiode. Een gemiddelde stormduur van 45 uur wordt daarbij aangenomen. Deze zijn geverifieerd en licht conservatief bevonden door vergelijking met de metingen uit het hydrometeosysteem van de Vlaamse Banken van de 3 zwaarste stormen van de afgelopen 20 jaar, namelijk de stormen van 28/1/1994, 15/11/1993 en 2/1/1995.



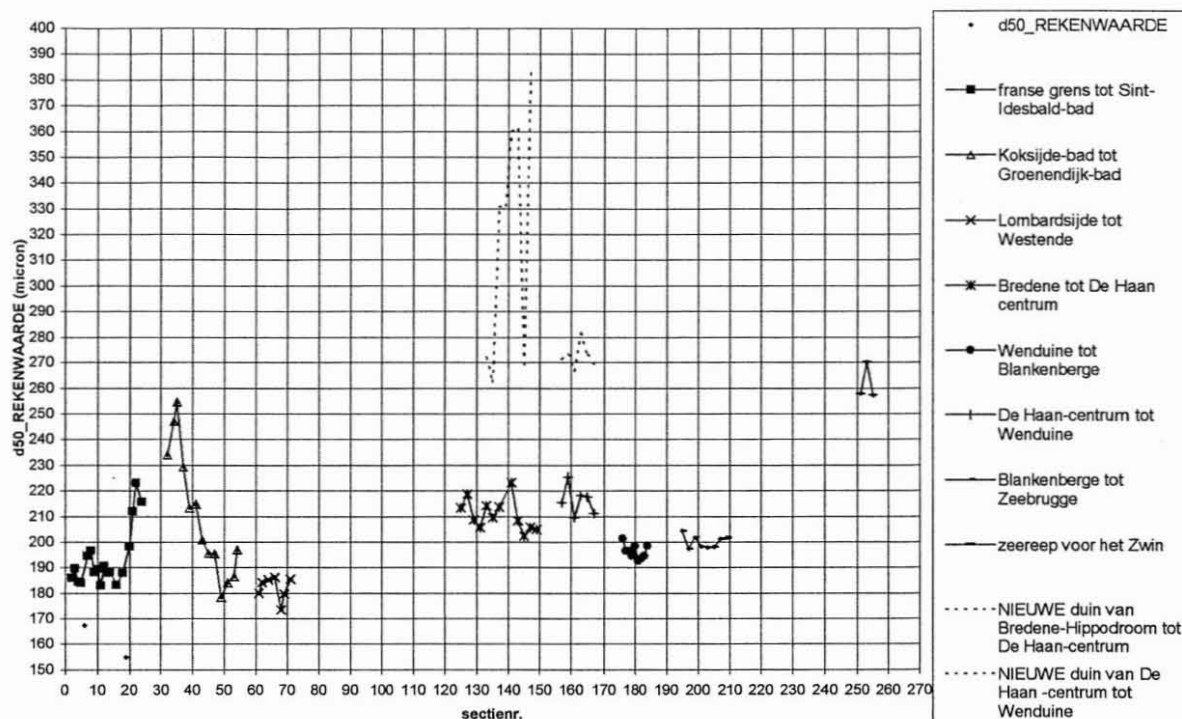
Figuur 19 : Verloop van waterstand, golfhoogte en golfperiode rond de stormpiek ("time" = 16 uur) bij een stormduur van 45 uur; figuur uit (STEETZEL, 1993)

3.2 Gedrag zeewering - toestand

De toestand van de natuurlijke zeewering, namelijk strand, duin en vooroever, is te karakteriseren door voornamelijk de topografie/bathymetrie ervan en de korrelgrootte van het zand.

De topografie van strand en vooroever is goed gekend door de jaarlijkse opmetingen ervan door middel van aërolaserhypsometrie met een resolutie van 1 meetpunt per 4 m² voor het strandgedeelte, en single-beam echolodingen met raaien loodrecht op de kustlijn om de 50 m tot 1,5 km uit de kustlijn voor het vooroevergedeelte (EUROSENSE-BELFOTOP). Een meetcampagne voor het bepalen van de korrelgrootte van het strandzand is aanbesteed door de afdeling Waterwegen Kust.

De topografie van de duinen is grotendeels goed gekend door de 3-jaarlijkse aërofotogrammetrische opmetingen van de zeewerende duinen met hoogtelijnen om de 1 m (EUROSENSE-BELFOTOP). Een landinwaartse uitbreiding van de opmeting is gepland om tesamen met de opmeting van de kustvlakte uitgevoerd te worden. In 1999 is een meetcampagne gerealiseerd ter bepaling van de korrelgrootte van het zeereepduinzand. Opvallend aan de resultaten, getoond op onderstaande figuur, is het relatieve groffe zand van de nieuwe duinen die in de zone tussen Bredene-Hippodroom en Wenduine "gebouwd" zijn door het plaatsen van rijshouthagen en het planten van helmgras op het in de jaren 1992-1996 gesuppleerde strand. Daarbij dient verduidelijkt dat het suppletiezand relatief grof was, met bijvoorbeeld een gemiddelde D50 van 350 à 400 µ tussen Bredene en De Haan (EUROSENSE-BELFOTOP, 1995).



Figuur 20 : Variatie van de korrelgrootte van het zeereepduinzand langs de kust

De toestand van de niet-natuurlijke zeewering, zoals zeedijken, duinvoetversterkingen en kaaimuren, wordt voor heel de kust visueel geïnspecteerd door de inspectieploeg van de afdeling Waterwegen Kust. Problematisch is dat in vele gevallen geen correcte plannen van deze (soms meer dan 100 jaar oude) constructies teruggevonden kunnen worden. Aanvullende opmetingen en onderzoeken van de inwendige bouwkundige toestand zijn noodzakelijk. Met behulp van niet-destructieve technieken zijn de afgelopen jaren de inwendige bouwkundige toestand onderzocht van de zeedijken tussen Middelkerke en Oostende-Mariakerke (HAECON - MAGELAS - G-TEC, 1998), te Bredene (GHENT DREDGING - G-TEC - MAGELAS, 1999) en te Oostende-centrum (G-TEC - MAGELAS, 2000 en M.&J.BRAET, 2000).

3.3 Gedrag zeewering - modellen

Modellen ter beschrijving van het gedrag van de zeewering van de Nederlandse Leidraad Toetsen op Veiligheid (TAW, 1999) kunnen gebruikt worden. Bij de afdeling Waterwegen Kust is software beschikbaar die de berekeningen kunnen vergemakkelijken, namelijk het programma SUPER-DUNE voor simulatie van duinafslag, het programma DUROSTA voor simulatie van strand- of duinafslag tijdens een storm, en het programma PC-TOETS waarmee een "eenvoudige toetsing" berekend kan worden.

3.4 Doorbraakkans bestaande zeewering

Als de belastingsrandvoorwaarden, de toestand van de zeeweringen en het gedrag van de zeeweringen gekend zijn, kunnen doorbraakkansen van de bestaande zeewering berekend worden.

Voor de natuurlijke zeewering langs de Belgische kust zijn op basis van de op dat moment beschikbare gegevens indicatieve berekeningen van de doorbraakkans uitgevoerd (VERWAEST, 1998).

In deze titel volgt een beschrijving van de resultaten die werden gevonden.

Het resultaat van deze berekeningen was een geschatte verwachte bezwijkkans van de (eerste linie in de) zeewering. Er wordt benadrukt dat het slechts een geschatte waarde is (vanwege de vele vereenvoudigende veronderstellingen) die kwalitatieve vergelijking toelaat van de sterkte van de (eerste linie in de) zeewering tussen kustdelen, maar die kwantitatief met reserve moet worden behandeld. Meer rigoureuze methodes, inclusief de begroting van onzekerheden, zijn nodig om kwantitatief beter bruikbare bezwijkkansen kennen.

Een gevoeligheidsanalyse werd uitgevoerd, waaruit gebleken is dat kleine variaties op de gegevens tot grote variaties leiden van de berekende bezwijkkans. Schematisch kan geschreven worden dat de bezwijkkans van de natuurlijke zeewering = functie(rekenpeil, rekenwaarde golfhoogte, rekenwaarde duinzandkorrelgrootte, duinvolume, strandvolume,...) waarbij 5 belangrijke parameters opgesomd zijn. Voor elk van deze parameters is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De resultaten ervan staan in onderstaande tabel.

Tabel 1 : gevoeligheid parameters kans duindoorbraak

parameter	procentuele variatie van de absolute variatie van de parameter parameter die de bezwijkkans met een factor 2 doet toenemen	die de bezwijkkans met een factor 2 doet toenemen
duinkorrelgrootte (rekenwaarde)	- 5 %	-10 μ
waterniveau (rekenwaarde)	+ 1,5 %	+ 10 cm
golfhoogte (rekenwaarde)	+ 30 %	+ 1,8 m
duinvolume	/	- 20 m ³ /m
strandvolume	/	- 20 m ³ /m

De in (VERWAEST, 1998) gebruikte methode omvat voor elk van deze 5 parameters een zekere bepalingwijze, en daarmee samenhangend een bepaalde onzekerheid (maat voor de onzekerheid: spreiding s: 66% kans dat werkelijke waarde minder dan $\pm s$ afwijkt) en/of een fout (maat voor de fout: D: verwachte waarde van het verschil met de werkelijke waarde). In onderstaande tabel zijn de geschatte onzekerheden en/of fouten op de parameters opgesomd en wat de daaruitvolgende onzekerheid en/of fout op de bezwijkkans is.

Tabel 2 : onzekerheden inputparameters en onzekerheid kans duindoorbraak

parameter	spreiding s op de parameter	fout D op de parameter	spreiding s op de bezwijkkans	fout D op de bezwijkkans
duinkorrelgrootte (rekenwaarde)	$\pm 40 \mu$	/	factor 1/10 ... 10	/
waterniveau (rekenwaarde)	± 20 cm	/	factor $\frac{1}{4}$... 4	/
golfhoogte (rekenwaarde)	$\pm 0,5$ m	+ 1 m (overschatting)	factor 0,8 ... 1,3	factor 1,5 (conservatief)
duinvolume	± 10 m ³ /m	/	factor 0,7 ... 1,5	/
strandvolume	± 10 m ³ /m	/	factor 0,7 ... 1,5	/
GLOBAL			factor 1/12 ... 12	factor 1,5 (conservatief)

Uit deze tabel blijkt dat:

- de berekende bezwijkkansen slechts een ruwe schatting zijn: kwalitatieve interpretatie
- ook de vergelijking van de bezwijkkansen tussen verschillende zones is moeilijk vanwege vnl. de onzekerheid op de duinkorrelgrootte en het rekenpeil

De geschatte verwachte bezwijkkans van de (eerste linie van de) zeewering wordt bepaald als 1/10 van de kans van voorkomen van de storm waarbij het overstroombare achterland (lager gelegen dan het rekenpeil: tussen +7 à +8 m t.o.v. Z) overstroomd wordt. De factor 1/10 is het gevolg van het toepassen van veiligheidsfactoren op de te verwachten stormcondities (TAW, 1999).

Er wordt geen rekening gehouden met de na de eerste linie van de zeewering (de zeereep) mogelijke volgende linies in de zeewering. Evenmin worden volledige overstromingssimulaties uitgevoerd, die evenwel uitgevoerd moeten worden t.b.v. het volledig in kaart brengen van het overstroombare achterland en het schaderisico.

Samengevat kan worden gesteld dat de (VERWAEST, 1998) berekende bezwijkkansen

- wat betreft de *nauwkeurigheid* van het resultaat er slechts een indicatie wordt gegeven van de orde van grootte
- wat betreft de *volledigheid* dienen overstromingssimulaties (inclusief 2e linie van de zeewering) uitgevoerd te worden t.b.v. het in kaart brengen van schaderisico's opdat de zwakke plekken in de natuurlijke zeewering gelokaliseerd kunnen worden

Uit de berekeningsresultaten van duindoorbraak bleek dat de geschatte verwachte bezwijkkans van de eerste linie van de zeewering in verschillende zones lager is dan de in Nederland (Holland / Zeeland) gehanteerde normen voor duindoorbraak. Bedenk hierbij wel dat de meest kritieke profielen in de opeenvolgende zones met een gemiddelde lengte van 10 secties geëvalueerd werden: het is goed mogelijk dat een plaatselijk werk aan het (de) kritieke profiel(en) de veiligheid van de gehele zone kan doen verbeteren. Daarom dient in de toekomst de veiligheid over kortere zones te worden geëvalueerd, bijvoorbeeld per sectie. Op bepaalde plaatsen is de evaluatie slechts beperkt kunnen gebeuren; dit is vnl. omdat geen voldoende topografische gegevens van de zeereepduinen daar beschikbaar waren (topografie dwarse toegangen, topografie t.p.v. bebouwing in de zeereepduinen,...).

3.5 Bestaand schaderisico

Schattingen van het bestaande schaderisico zullen kunnen gebeuren als naast de belastingsrandvoorwaarden, de toestand van de zeeweringen en het gedrag van de zeeweringen, ook het DTM van de kustvlakte en de inventaris van de goederen en hun waarde in de kustvlakte gekend zijn. Via simulaties van overstromingen kunnen dan de mogelijke overstromingsschades in kaart worden gebracht.

De opname van het DTM van de kustvlakte is gepland om uitgevoerd te worden in de winter 2000-2001, volgens de specificaties voor het DTM-Vlaanderen, namelijk het nemen van luchtfoto's op een vliegschaal van 1/4.000 en het met laseraltimetrische of fotogrammetrische technieken opbouwen van een hoogtemodel met een roosterresolutie van 20 m op 20 m mét opmeting lijnelementen en een nauwkeurigheid van de orde van 10 cm voor goed gedefinieerde punten.

De inventarisatie van de goederen en hun waarde in de kustvlakte zal nadien kunnen uitgewerkt worden met behulp van ondermeer de luchtfoto's, de bestaande bodemgebruikskaarten en een voor Vlaanderen op te stellen databank met waarden te geven aan verschillende types goederen.

4 MAATREGELEN TER REALISATIE VAN EEN ALGEMEEN VEILIGHEIDSNIVEAU

Nadat het bestaande schaderisico bepaald is, kunnen met de opgestelde methodiek simulaties uitgevoerd worden van het schaderisico-beperkende effect van verschillende soorten maatregelen.

Er kan een kosten-baten studie gemaakt worden waarbij de investeringen om een bepaald niveau van kustverdediging op te bouwen en in te stand te houden vergeleken wordt met de schade-risico's voor datzelfde niveau van kustverdediging.

Bij dit alles mogen de onzekerheden op de berekende kosten, baten en schaderisico's niet uit het oog verloren worden. Vanwege de zeer grote te verwachten onzekerheden ten gevolge van bijvoorbeeld de extreme extrapolaties naar de extreme stormcondities of de onzekerheden over het faalgedrag van de zeeweringselementen, kan verwacht worden dat het zeer moeilijk zal zijn om een optimaal veiligheidsniveau met behulp van een kosten-batenanalyse af te leiden.

Een maatschappelijk debat kan dan gevoerd te worden ter bepaling van kustverdedigingsnormen.

REFERENTIES

Buisman, 1996. *Duizend jaar weer, wind en water in de Lage Landen. Deel 2: 1300-1450*. Uitgeverij : Franeker : Van Wijnen.

- Cliquet A., Vercruyce J. & Maes F., 2000. Maritiem Instituut (vakgroep Internationaal Publiekrecht) Universiteit Gent. *Juridische inventarisatie van de kustzone in België*. Studie in opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.
- De Wolf P., 1996. *Waterbeheersingsproblemen in West-Vlaanderen. De kustzone*. West-Vlaanderen Werkt, 1/1996.
- Eurosense-Belfotop. *Rapporten kustmorfologie*. Verschillende rapporten van metingen van vooroever, strand en duinen in opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.
- Eurosense-Belfotop, 1995. *Morfologische opvolging van de combinatie voedingsberm en zandsuppletie in de zone De Haan - Bredene*. Studie in opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.
- G-tec nv - Magelas bvba, 2000. *Synthese opbouw zeewering Oostende*. Studie in opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 25 februari 2000.
- Ghent Dredging nv - G-tec nv - Magelas bvba, 1999. *Opsporen van holten onder de bekleding van de zeedijkvlooiing van de Spinoladijk te Oostende-Bredene met niet-destructieve methodes*. Studie in opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 25 juli 1999.
- Haecon nv, 1989. *Atlas - Hydrometeowaarnemingen voor de Vlaamse kust*. Studie in opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.
- Haecon nv - Magelas bvba - G-tec nv, 1998. *Opsporen van holten onder de bekleding van de zeedijkvlooiing tussen Middelkerke en Oostende en aan de rotonde te Wenduine met niet-destructieve methodes*. Studie in opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 31/11/98.
- Haecon nv, 2000. *Golfberekeningen langs de Belgische kust. Leveren van technisch-wetenschappelijke bijstand bij het ontwikkelen in het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout van een golfmodel voor de kustzone*. Studie in opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeewezen, Waterbouwkundig Laboratorium, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.
- Haecon nv & Probabilitas nv, 2000, nog te verschijnen. *nieuwe Hydrometeoatlas*. Studie in opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.
- KINT, 1999. *Hoogwaterstanden en overstromingen in België. Een socio-economische benadering. Evaluatie van de tastbare kosten veroorzaakt door de overstromingen van januari 1995*. De verhandelingen van het KINT, nr. 4 - december 1999. Koninklijk Instituut voor het Duurzame Beheer van de Natuurlijke Rijkdommen en de Bevordering van Schone Technologie.
- Meersschaut Y., 2000. *Nieuwe haventoeegang Oostende. Golfrefractieberekeningen*. Waterbouwkundig Laboratorium, AWZ-LIN-MVG, Borgerhout, juli 2000.
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 1993. *KUST 2002. Deel 1 : de zeewerende functie van de kust. Stand van zaken. Voorbereidend rapport*. Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen, Bestuur Havens, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 15/07/1993.
- M.&J.Braet nv, 2000. *Herstellen van de zeedijkvlooiing te Oostende-centrum. Bestek A3/97 D 74*. Werken uitgevoerd in opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.
- OMOB, 1999. *HomeComfort. Verzekeringscontract. Algemene voorwaarden*. OMOB, Hasselt.
- Philippart M.E., Dillingh D., Pwa S.T., 1995. *De basispeilen langs de Nederlandse kust. De ruimtelijke verdeling en overschrijdingslijnen*. Rijksinstituut voor kust en zee, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, mei 1995.
- Probabilitas nv, 1999. *Statistische modellering van extreme hoogwaterstanden en het overeenkomstige zeeklimaat in relatief diep water*. Studie in opdracht van de afdeling Waterwegen Kust, AWZ-LIN-MVG, 7 september 1999.
- TAW, 1999. *Leidraad Toetsen op Veiligheid*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, augustus 1999, Delft.

- Van Cauwenberghe C., 1993. *Overzicht van de tijwaarnemingen langs de Belgische kust. Periode 1981-1990 voor Nieuwpoort, Oostende en Zeebrugge*. Rapport nr. 40 van de Hydrografische Dienst der Kust, Oostende. Verschenen in *Infrastructuur in het Leefmilieu* 6/93, LIN-MVG.
- Van Cauwenberghe, 1997. *Overschrijdingslijn voor Oostende*. interne nota, afdeling Waterwegen Kust, AWZ-LIN-MVG, Oostende, 27/11/1997.
- Van Damme D., 1953. *Oostende overstroomd. Giertij van 1 februari 1953*. n.v. Unitas, Oostende.
- van Urk A., 1993. *De basispeilen langs de Nederlandse kust. Eindverslag van het onderzoek naar de kansen op extreem hoge waterstanden langs de Nederlandse kust*. Rijksinstituut voor kust en zee, Dienst Getijdewateren, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, april 1993.
- Viaene P., 2000. *Effecten van een mogelijke klimaatverandering op het zeespiegelniveau, de rivierafvoer en de frequentie van hoogwaters eb stormen*. Waterbouwkundig Laboratorium, AWZ-LIN-MVG, Borgerhout, april 2000.
- Verwaest T., 1998. *1e bepaling van het Veiligheidsniveau van de zeereep*. intern rapport, afdeling Waterwegen Kust, AWZ-LIN-MVG, Oostende, december 1998.
- Verwaest T., 1999a. *Resultaten van berekeningen van het veiligheidsniveau van de natuurlijke zeewering volgens de methodiek van "1e bepaling van het Veiligheidsniveau van de zeereep"*. interne nota, afdeling Waterwegen Kust, AWZ-LIN-MVG, Oostende, 29/11/99.
- Verwaest T., 1999b. *Overschrijdingskromme extreme stormpeilen te Oostende. Berekening volgens convolutie van astronomische componente en opzetcomponente*. Intern rapport afdeling Waterwegen Kust, AWZ-LIN-MVG, Oostende, maart 1999.
- Verwaest T., 2000. *Strand De Haan centrum, na suppletie mei-juni 2000. Dwarsafslagberekeningen met DUROSTA. Simulatie van het effect van een 1000-jarige storm*. intern rapport, afdeling Waterwegen Kust, AWZ-LIN-MVG, Oostende, 1/8/00.